CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN PARA O ESTADO DE SÃO PAULO: ANÁLISE CRÍTICA E APLICAÇÃO

João Paulo Macieira BARBOSA[1]

RESUMO

A proposta deste trabalho é realizar uma leitura crítica a respeito do método de Köppen e aplicá-lo sobre o estado de São Paulo. Foram utilizados dados de precipitação (totais mensais e anuais) e temperatura (médias mensais e anuais), cobrindo um período de 30 anos (1970-2000), de várias localidades no Estado de São Paulo levando em conta também a distribuição espaço-temporal de forma a bem representar a variabilidade temporo-espacial no estado. A partir desses dados, foram elaborados climogramas e uma série de mapas, além do mapa climático proposto, que demonstrou que o estado de São Paulo apresenta quatro tipos climáticos distintos. Concluímos que entre as vantagens da classificação está seu caráter didático, grande objetividade e uma linguagem quantitativa, além de nos fornecer uma ótima compreensão inicial do clima regional. Por outro lado ela se mostrou extremamente empírica, até certo ponto determinista, utiliza-se de critérios rígidos em relação aos limites, sem área de transição, e não faz menção a uma categoria sub-úmida, presente no território paulista. Apesar disso ela fornece indicações de interesse para diversas atividades como agricultura e planejamento urbano.

INTRODUÇÃO

A classificação climática tem como finalidade o arranjo eficiente de um determinado número de informações pertinentes em uma forma simplificada e generalizada. Entre os vários modelos de classificação climática, podemos citar (KÖPPEN, 1948), (THORNTHWAITE, 1949), (MILLER, 1965), (STRAHLER, 1969), (TERJUNG & LOUISE, 1972). Quando estudamos o clima, temos que incluir na análise a abordagem dos seus elementos formadores, assim, não podemos esquecer na pesquisa aspectos como a temperatura, precipitação atmosférica, pressão atmosférica, nebulosidade, etc. Esses elementos sofrem variações de acordo com a latitude, a altitude de um ponto, com a cobertura do local - se este é de vegetação ou se é de deserto -, etc. Segundo Vianello & Alves (1991, p.383), *"...em escala regional ou local, outros fatores podem ser acrescentados: (...) presença do mar, continentalidade, tipo de solo, rotação da terra, estações do ano (...), etc"*. O clima sobre determinada região seria, *"... a síntese de todos os elementos climáticos em uma combinação de certa forma singular, determinada pela interação dos controles e dos processos climáticos. (...) existe uma variabilidade de climas ou de tipos climáticos reinantes sobre a superfície terrestre"* (AYOADE, 2001, p.224).

Ao delimitar uma determinada área na superfície terrestre - no caso, o Estado de São Paulo, estamos especificando uma área regional singular implicando em uma abordagem descritiva a respeito dos fenômenos climáticos juntamente com uma análise estatística. Quando propomos uma classificação climática para o Estado, é pensando na necessidade de agrupar os elementos climáticos similares em tipos climáticos a partir das quais as regiões climáticas são mapeadas, de forma a atender um propósito específico.

A classificação climática pressupõe três objetivos que se inter-relacionam: ordenar grande quantidade de informações, facilitar a sua rápida recuperação e facilitar a comunicação. Os três objetivos são alcançados pela técnica do mapeamento. Em nossa classificação,

[1] Universidade Estadual de Campinas, Bacharel e Licenciado em Geografia, joao.barbosa@ige.unicamp.br.

utilizaremos o enfoque empírico baseando nos próprios elementos climáticos observados ou seus efeitos sobre outros fenômenos, como por exemplo, a vegetação. Esse tipo de classificação pode ser baseada em um só elemento ou na combinação de vários elementos climáticos. Aqui temos que nos atentar a respeito de qual é o propósito do nosso trabalho. *"O número de elementos que devem ser combinados em determinada classificação climática depende dos propósitos a que se destina. Assim, uma classificação que sirva a um propósito não servirá, necessariamente, a outra finalidade"* (VIANELLO et al, 1991, p.383). No caso do trabalho a ser realizado, utilizaremos dados de precipitação e de temperatura que juntamente com um tratamento matemático e uma leitura a respeito da vegetação, nos permite fazer uma classificação climática nos modelos de Köppen.

Sobre a Classificação Climática de Köppen

Algumas características são selecionadas para sistematizar e classificar os vários tipos, de modo a simplificar, organizar e generalizar as condições. A temperatura e a precipitação são os mais usados.

Esses elementos são os mais discutidos do tempo atmosférico. Como qualquer outro elemento, a temperatura varia no decorrer do tempo cronológico em uma mesma localidade. Entre os fatores que podem influenciar a distribuição da temperatura estão a quantidade de insolação recebida, o relevo, a proximidade de corpos hídricos, a natureza da superfície, entre outros. Para a pesquisa, é importante considerar principalmente a variação sazonal dessa temperatura que resulta principalmente da variação sazonal no volume de insolação recebida em qualquer lugar do estado.

A precipitação atmosférica é usada para designar qualquer tipo de deposição que vem da atmosférica: neve, granizo, chuva. O pluviômetro é utilizado para a coleta e medição do volume de precipitações que ocorrem durante um espaço de tempo definido. Alguns livros trabalham com grau de aridez (BARRY & CHORLEY, 1998) A aridez não estaria ligada a uma maior ou menor quantidade de precipitação, mas sim a precipitação efetiva, que seria calculada a partir da precipitação menos a evaporação de um dado local num tempo específico.

Na classificação climática de Köppen, com a qual iremos trabalhar, temos por base numérica dados de temperatura e precipitação mensal e anual. Os limites das zonas podem ser definidos pelos padrões de vegetação, porém, para uma escala de trabalho regional, a utilização de critérios numéricos para a determinação dos limites torna-se mais apropriada. *"Isso permite também a atualização da classificação, à medida que dados mais confiáveis se tornem disponíveis"* (VIANELLO et al, 1991, p.385). Das cinco grandes zonas definidas por Köppen, 4 tem por base a temperatura – A,C,D e E – a outra – B – tem por base a precipitação. Assim cada zona é dividida em tipos, de acordo com as relações entre temperatura e precipitação. A temperatura deve fornecer tipos climáticos como quente, temperado, frio, etc. Acrescentando a precipitação, os modelos se multiplicam. Daí surgem os modelos quente e úmido, frio e seco, etc. No decorrer dos anos a classificação de Köppen foi sendo refinada. (TREWARTHA, 1968) acrescenta uma sexta zona – H – relacionada a um clima de altitude. Outros modelos de classificação empírica se assemelham muito ao de Köppen. O modelo elaborado por (MILLER, 1965) é um deles.

A zona A na classificação de Köppen, ocupa quase toda extensão do planeta entre 15° e 20° de latitude Norte e Sul. A principal característica dessa faixa é a ausência de frio, sendo altamente modulada pela latitude. É permanentemente úmida com grande convecção. Os tipos advêm das diferenças na distribuição da chuva. O mês mais frio tem temperatura média superior a 18°C. A precipitação pluvial anual é maior do que a evapotranspiração anual.

A zona B recobre cerca de 30% do globo. Ocorre nas latitudes subtropicais, onde há grande subsidência dinâmica (alta pressão). Trata-se de uma área de estabilidade, que inibe a

convecção, mas que não significa necessariamente falta de umidade. Não existe excedente de água, o que implica na inexistência de rios permanentes.

A Zona C recobre áreas de latitudes médias – entre 30° e 60° – É uma área de grande variabilidade atmosférica devido a um choque entre fluxos frios de Leste e mais quentes de Oeste, com verões e invernos bem marcados e precipitação bem variável nos totais e na distribuição sazonal. A temperatura varia entre –3°C e 18°C no mês mais frio. O mês mais quente tem uma temperatura média maior do que 10°C.

As demais zonas D e E são caracterizadas por climas extremamente frios. A zona D, onde a temperatura média do mês mais frio é inferior a –3°C, ocorre quase inteiramente no Hemisfério Norte, pois no Hemisfério Sul há poucas superfícies nessas latitudes. O mês mais moderadamente quente tem temperatura média maior do que 10°C. A zona E, ao contrário, apresenta o mês mais moderadamente quente com temperaturas menores do que 10°C. Caracterizado por um clima polar, foge totalmente ao recorte do nosso trabalho. Köppen classifica a zona D e seus subtipos como climas frios com neve, e a zona E e seus subtipos, como climas polares.

A zona H, proposta por Trewartha conforme exposto, esta totalmente ligada a altitude. O traço mais marcante dessa zona é a sua grande variação geográfica. Nessas áreas a latitude torna-se um controle de menor importância. Alguns autores (ex. Vianello e Alves) adotam uma altitude acima de 3.000m para utilização desse símbolo na classificação climática. Porém, a grande maioria observada na bibliografia, não faz referência a valores quantitativos, como Ayoade (1991).

A respeito das subdivisões de Köppen, temos o seguinte quadro:

Tabela 1. Subdivisões da classificação de Köppen

DISTRIBUIÇÃO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO	CARACTERÍSTICAS ADICIONAIS DE TEMPERATURA
f – nenhuma estação seca. Úmido o ano todo (A,C e D).	a – verão quente, o mês mais quente tem temperatura média maior do que 22°C.
w – Chuva de verão (A,C e D).	b – Verão moderadamente quente, o mês mais quente tem temperatura média inferior a 22°C.
S – estação seca de verão (B)	c - Verão breve e moderadamente frio, menos do que 4 meses têm temperatura média maior do 10°C.
W – Estação seca de inverno (B)	d – inverno muito frio, o mês mais frio tem temperatura média menor do que -38°C.
m – de monção, com uma breve estação seca e com chuvas intensas durante o resto do ano (A).	OBS: Nas regiões áridas (BW e BS), são ainda usados: h – quente, temperatura média anual maior do que 18 °C, k – moderadamente frio, temperatura média anual menor do que 18°C.

Muitas classificações climáticas estão interessadas na relação entre clima e vegetação. Poucas dão atenção aos efeitos diretos do clima sobre as espécies. Talvez esse seja um dos pontos que tiram, das classificações climáticas, aplicabilidade direta sobre os problemas sociais advindos das condições de clima. Outro ponto relacionado às classificações climáticas, principalmente na de Köppen, é a sua ampla utilização nos dias de hoje. Para o conhecimento da época, sua classificação constituiu de um estudo bastante sofisticado, mas, atualmente existem outras propostas que ao mesmo tempo em que propõe resultados mais satisfatórios se caracterizam por serem mais complexas. O primeiro modelo de Köppen é datado de 1900 e foi baseado em um mapa de zonas de vegetação. O modelo seguinte foi revisado em 1918, quando foi dada atenção a elementos climáticos como a temperatura e a precipitação e principalmente às variações sazonais destes elementos. Novas alterações foram surgindo ao longo dos anos, porém, o método de análise e a abordagem empírica continuam sendo um dos entraves para uma maior evolução da classificação.

Como qualquer classificação climática, ela se torna artificial à medida que colocamos fronteiras, limites ao redor de fenômenos que são complexos e que possuem um

funcionamento dinâmico. Um estudo a respeito do clima necessariamente precisa ser dinâmico uma vez que o clima se comporta dessa forma. Assim, estabelecer limites torna-se uma tarefa difícil. Se o clima varia no decorrer do tempo, os limites também flutuarão. Se o clima é um fenômeno variado formado por vários elementos, *"... existe o problema da identificação de parâmetros climáticos cruciais que constituem tipos climáticos distintos. (...) Com freqüência, apenas os valores médios desses elementos são empregados no exercício da classificação"* (AYOADE, 1991, p.225)

Diversas classificações climáticas em escala global adotam como referência um padrão de distribuição espacial da vegetação. Assim, elas relacionam a distribuição da vegetação essencialmente ao clima, ou seja, esse atributo torna-se um índice que determina o clima predominante em uma área. Essa influência da vegetação, como elemento relacionado unicamente ao clima, é mais uma imperfeição nas classificações climáticas que adotam esse modelo. Ao dar um papel tão grande a vegetação, desconsideram que ela é moldada não apenas pelo clima , mas também pelo solo, pelas ações humanas, e pelo relevo.

Por último, existem características relacionadas aos dados coletados pelas estações meteorológicas. Os dados não cobrem toda a superfície em nossa escala de pesquisa. Há também a questão da confiabilidade desses dados, muitas vezes bastante baixas.

Existem ainda particularidades à classificação de Köppen. Seu método é extremamente empírico, utiliza um critério rígido em relação aos limites e não há referência a uma categoria sub-úmida. (THORNTWAIT, 1948) a descreve como não sistemática, com normas e definições que não possuem relações.

Köppen ao elaborar sua classificação, demonstra um certo caráter determinista. Em uma das passagens de seu livro, ele limita as áreas de sobrevivência e de desenvolvimento do homem, as áreas de chuva. Categoricamente ele afirma que os limites são, por um lado, a região onde a morte se origina por congelamento e, por outro lado, a região onde a morte se origina por sede. É dentro desses limites, em uma região com vida, onde encontramos os mais variados tipos de clima. Cumpre lembrar que essa visão reflete o período histórico em que seus estudos foram desenvolvidos.

Essa característica tão determinista que Köppen dá ao clima foge as atuais possibilidades que a humanidade, a partir dos objetos técnicos criados, e da evolução de outros, atingiu. Essa humanidade consegue sobreviver em lugares antes considerados impossíveis. A natureza antes vista como determinante das ações humanas, responsável maior pela organização do espaço agora pode, até um certo ponto, ser modificada, transformada segundo interesses individuais ou coletivos, mais ainda assim é impossível dizer que temos controle sobre ela. O homem molda a natureza segundo seus interesses até um certo limite. Cria, e transforma a natureza.

Por outro lado, uma das vantagens da classificação de Köppen, *"... é o seu caráter didático permitindo adaptá-la para diferentes níveis, sendo, ao mesmo tempo, simples e detalhada"* (VIANELLO et al, 1991, p.385). É um tipo de classificação usado extensivamente nas escolas. Dotada de grande objetividade e de uma linguagem quantitativa, permite-nos realizar uma análise e, assim, uma crítica qualitativa, apontando vantagens e desvantagens da classificação. Não podemos esquecer que Köppen trabalhou no aperfeiçoamento de sua classificação durante toda sua vida acadêmica.

MÉTODOS e TÉCNICAS

Utilizamos dados de precipitação e temperatura de várias localidades no Estado de São Paulo. Esses dados tiveram que ser 'filtrados' pois havia em muitos deles ausência de valores para alguns meses. Para outras localidades faltavam décadas inteiras. Foram consideradas satisfatórias localidades onde a falta de dados fosse mínima, por isso, a escolha a respeito das localidades (foram selecionadas 30 localidades – ver tabela 4) visou

a melhor distribuição espaço-temporal possível. As planilhas tiveram que ser reorganizadas e novas planilhas foram geradas para cada ponto escolhido. Todos os cálculos de média e soma foram realizados no Excel, que também foi a ferramenta utilizada na elaboração das tabelas e dos Climogramas.

Os Climogramas são gráficos de extrema utilidade nos estudos climáticos. Eles nos fornecem informações a respeito da distribuição mensal de chuvas e das temperaturas médias para cada mês de acordo com a escala temporal utilizada. No nosso estudo os Climogramas foram elaborados com valores médios dentro do período de 30 anos. Os Climogramas também servem como modelos a respeito do tipo de clima de uma determinada localidade. Assim, a partir do desenho da curva de temperatura e das colunas de precipitação, criamos uma idéia a respeito do clima, da distribuição sazonal de chuvas e de temperatura. Abaixo colocamos 2 dos 30 climogramas elaborados.

Tabela 2. Médias de temperatura e precipitação de Campos do Jordão

Mês	Médias das T. MÁX (°C).	Médias das T. MIN (°C).	Média mensal(°C).	Média da Precipitação Mensal
Janeiro	23,2	12,9	18,1	334,2
Fevereiro	23,4	13,0	18,2	267,6
Março	22,8	11,9	17,4	190,9
Abril	21,0	8,7	14,9	80,6
Maio	18,7	5,7	12,2	63,2
Junho	17,9	4,4	11,2	54,9
Julho	17,5	3,8	10,7	37,8
Agosto	19,4	4,2	11,8	46,6
Setembro	20,7	7,3	14,0	86,6
Outubro	21,7	9,5	15,6	179,4
Novembro	21,9	10,7	16,3	229,6
Dezembro	22,5	12,1	17,3	331,0
Média Anual	**20,9**	**8,7**	**14,8**	**1902,4**

Figura 1. Climograma de Campos do Jordão.

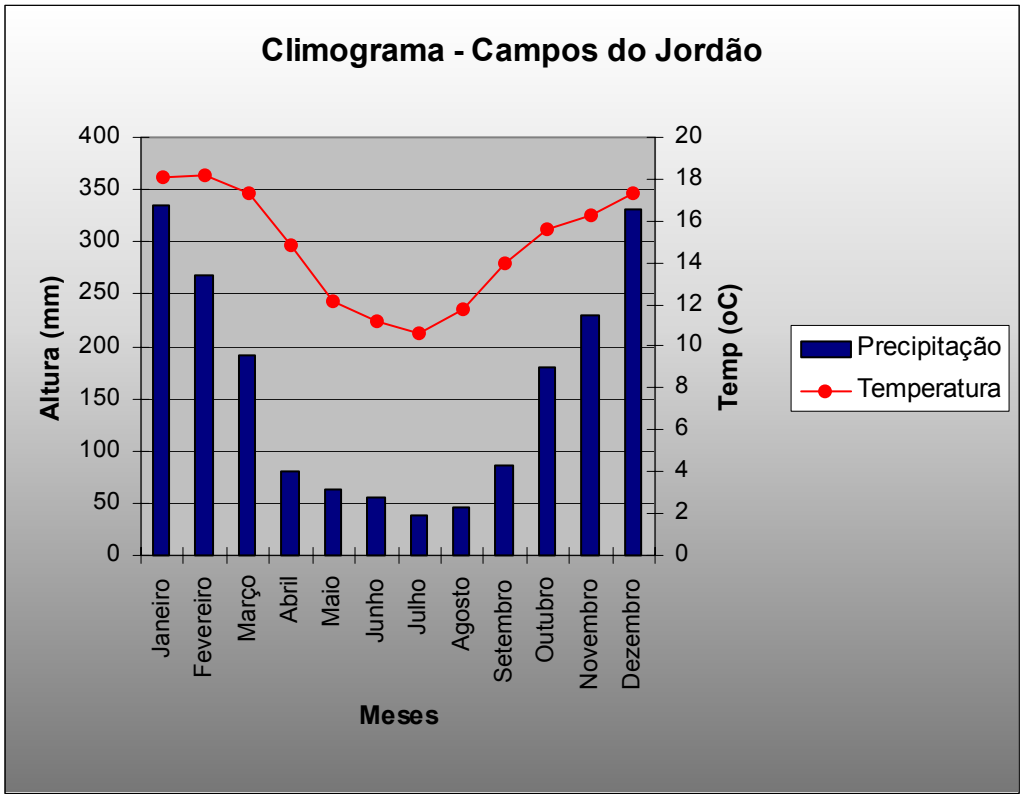
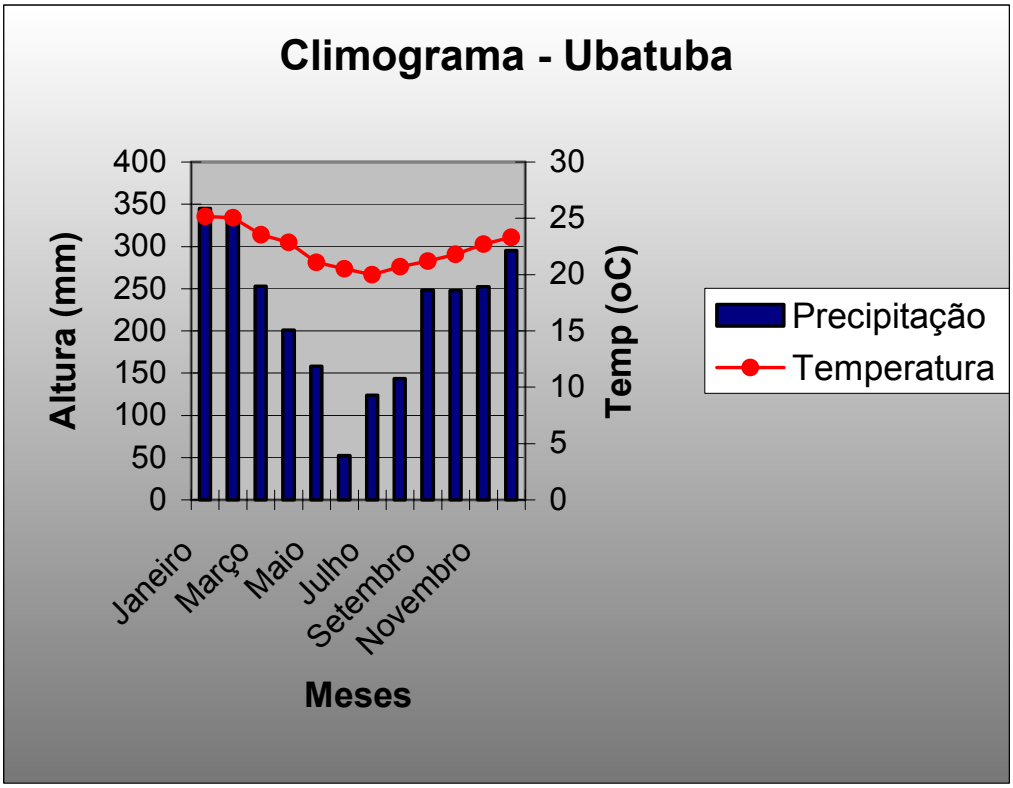


Tabela 3. Médias de temperatura e precipitação de Ubatuba.

Mês	Médias das T. MÁX (°C).	Médias das T. MIN (°C).	Média mensal(°C).	Média da Precipitação Mensal
Janeiro	29,7	20,6	25,2	344,9
Fevereiro	29,4	20,7	25,1	331,9
Março	28,7	18,4	23,6	252,7
Abril	27,3	18,4	22,9	201,1
Maio	25,9	16,3	21,1	158,4
Junho	25,7	15,3	20,5	52,2
Julho	24,8	15,2	20,0	123,8
Agosto	25,5	15,9	20,7	143,6
Setembro	25,5	16,9	21,2	248,6
Outubro	25,9	17,7	21,8	248,0
Novembro	26,9	18,5	22,7	252,5
Dezembro	28,2	18,4	23,3	295,1
Média Anual	**27,0**	**17,7**	**22,3**	**2652,8**

Figura 2. Climograma de Ubatuba.



Os dados referentes à localização geográfica dos pontos (latitude/longitude) inicialmente se encontravam em graus e minutos. Os valores foram convertidos em coordenadas UTM para facilitar o trabalho com os softwares utilizados. Através da pesquisa bibliográfica mais recente, verificamos que grande parte dos trabalhos que utilizam o SIG como ferramenta trabalham com coordenadas UTM.

Com os dados organizados nas tabelas, juntamente com os Climogramas, partimos para a elaboração dos mapas com a ajuda dos Softwares Surfer 8.1 e Idrisi. O primeiro está diretamente ligado à interpolação dos dados e a elaboração de um *Grid* adequado ao trabalho. Através dos dados interpolados foram geradas as isolinhas de precipitação e temperatura. Foram elaborados mapas de médias das temperaturas máximas, médias das temperaturas mínimas, média da temperatura e o mapa de precipitação. O segundo software foi utilizado para um estudo estatístico dos dados. Esse estudo foi feito com a função 'cluster' que procura gerar, a partir dos dados, áreas que apresentam similitude. Com

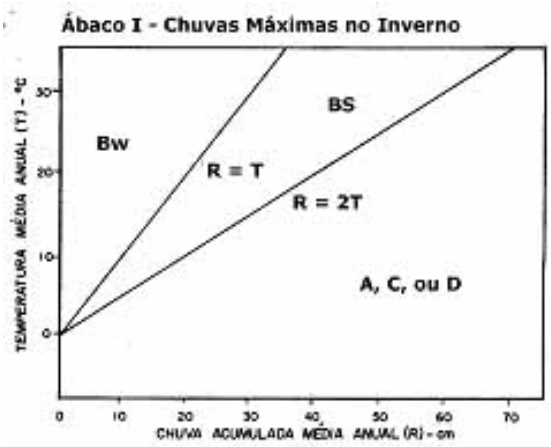
o resultado dessa análise, chegamos ao mapa com a classificação climática de Köppen para o Estado de São Paulo.

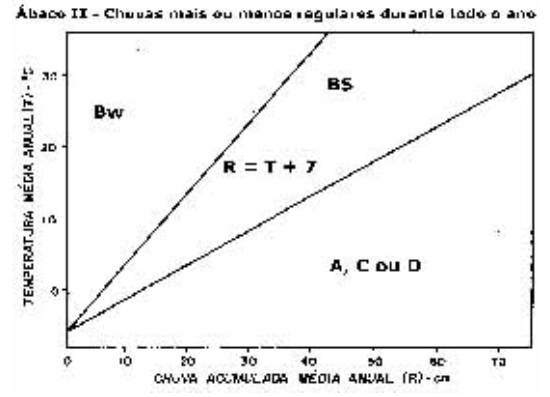
Por fim, os mapas sofreram um tratamento buscando a melhor visualização possível de acordo com a paleta de cores escolhida para cada mapa. Esse tratamento foi realizado em programes de edição de imagens: pacote Corel 12 (Corel Draw e Corel Photo Paint) e o próprio Paint Brush do sistema Windows.

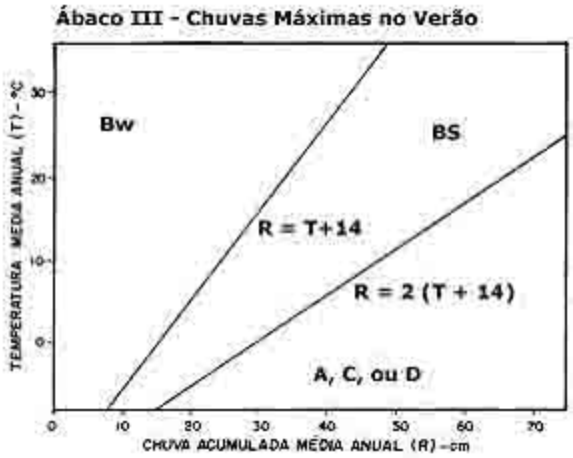
Para a realização das classificações, utilizamos o método descrito no livro por Vianello e Alves, que utiliza Ábacos que, juntamente com as tabelas de subtipos, permite chegar a conclusões satisfatórias a respeito do clima local.

Na coleta de dados de temperatura e precipitação temos que nos atentar às recomendações da *OMM* (*Organização Meteorológica Mundial*) sobre o período e a duração. Utilizaremos dados dos últimos 30 anos de temperatura e chuva de estações meteorológicas do Estado de São Paulo escolhidas para o trabalho. Esses dados sofreram um tratamento matemático que consistiu na listagem em valores médios mensais. No caso da temperatura, primeiramente, obtivemos a média das máximas e das mínimas para cada mês e em seguida calculamos a média anual. Para a chuva, somamos as médias mensais para obter a altura de precipitação anual.

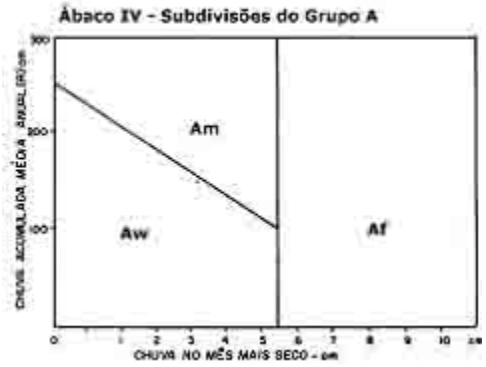
Conforme o regime pluvial, utilizaremos os Ábacos I, II ou III a seguir:



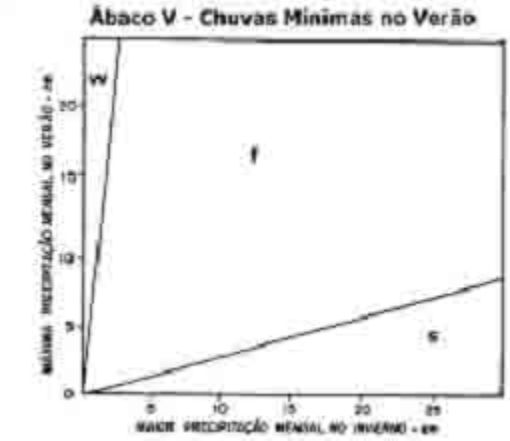


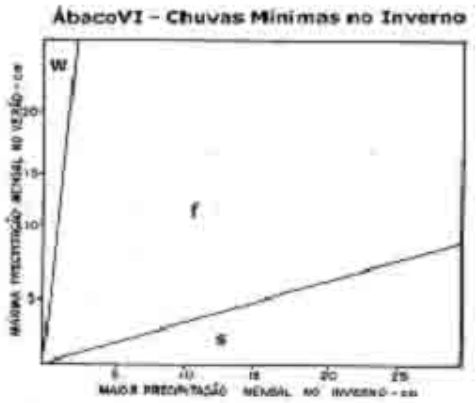


Se o grupo for B, podemos rapidamente identificar o tipo fundamental visto o Ábaco II. Sendo o clima o regime do Grupo A, recorremos ao Ábaco abaixo para identificar o tipo fundamental:



Recorreremos ao Ábaco V ou VI para localizar o grupo fundamental se o regime pertencer aos grupos C ou D. Os Ábacos são os seguintes:





Para a identificação do terceiro símbolo para os grupos C e D faremos o uso da seguinte tabela que diz respeito às características de temperatura:

Tabela 4. Limites de Subdivisões dos Grupos C e D

TIPO	a	b	c	d
Temperatura Média do mês mais quente	> 22 ° C	22 a 10 ° C		
Duração da Temperatura mais baixa.	Mais de 4 meses		1 a 4 meses	
Temperatura nédia do mês mais frio	> 30° C			< -38° C.

Assim temos as seguintes combinações possíveis:

Tabela 5. Possíveis Combinações

Grupo C			Grupo D	
Cwa Cwb	Csa Csb	Cfa Cfb Cfc Cfs	Dwa Dwb Dwc Dwd	Dfa Dfb Dfc

A partir daí pudemos realizar uma descrição a respeito do clima local pela interpretação da simbologia. Vale ressaltar que os valores encontrados podem não se ajustar aos ábacos. Quando isso ocorreu, utilizamos a referência da tabela 1 para a classificação.

Quando Köppen metodologicamente utiliza-se dos valores médios, podemos entrar no conceito de clima proposto por Hann e criticado por Monteiro. Segundo Hann (1903), o clima seria o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam a condição média da atmosfera sobre cada lugar da terra. Monteiro apresenta dois aspectos negativos nessa proposta de Hann: por se tratar de médias, temos aqui uma abstração desprovida de realidade. São valores matemáticos.

Outro aspecto seria a falta de umas das características mais marcantes do clima no conceito que foi construído: sua dinâmica. Hann trata o clima de forma estática, desconsiderando o desenrolar dos fenômenos no tempo.

O clima apresenta-se constantemente em transformação, ou seja, ele é dinâmico por essência. Essas transformações ocorrem no tempo cronológico, influenciado por aspectos da própria natureza ou devido a ação antrópica do homem. Por isso Monteiro faz uso do conceito de clima proposto por Sorre, segundo o qual *o* clima é a série de estados atmosféricos acima de um lugar em sua sucessão habitual. O que temos nesse conceito é a idéia do dinâmico, da sucessão. Monteiro nos atenta para uma quebra de paradigma no conceito de clima - *"... o paradigma novo é o ritmo em substituição à média dos elementos discretamente dissociados à atmosfera..."* (MONTEIRO, 1976, p.23).

Monteiro aqui faz uma crítica a estudos quantitativos a respeito do clima. Não a natureza própria da pesquisa, ou seja, por ela ser quantitativa, mas sim ao tratamento que é feito com os dados que são analisados separadamente, como se não houvesse relação entre si ou com qualquer outro elemento do clima. Assim, uma pesquisa em que os dados são coletados, analisados parte a parte, e esboçados em um mapa, não forneceria um resultado satisfatório no tipo de pesquisa que pretendemos formular.

Um trabalho que utilize valores médios mensais ou anuais, ou seja, de caráter quantitativo, é valido a medida que esses valores possam ser explicados pela dinâmica do clima em suas diferentes escalas. Monteiro em seu trabalho a respeito da dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo, faz uso de valores quantitativos, mas coloca assim a sua intenção: *"Se a observação do fenômeno Pluvial no território paulista foi possível através do computo dos valores quantitativos (possibilitando, através do mapeamento, sua variação no espaço) a compreensão, ou explicação do mesmo foi possível graças a análise dinâmica."* (MONTEIRO, 1973)

Tabela 4. Valores encontrados a partir das estações meteorológicas e dos climogramas.

Municípios	Latitude em UTM	Longitude em UTM	Temperatura Máxima Média (°C)	Temperatura Mínima Média (°C)	Temperatura Média (°C)	Precipitação Média (mm)
Andradina	7690691	461861	30,7	18,5	24,6	1276,9
Araçatuba	7655576	560547	30,2	19,1	24,7	1521,2
Assis	7495067	561650	28,5	15,4	22,0	2644,5
Avaré	7445700	713414	23,3	15,4	19,4	1317,4
Barretos	7725733	753712	31,7	17,4	24,6	1553,3
Bauru	7532637	700891	26,1	16,2	21,2	1285,0
Botucatu	7467067	763334	26,3	16,6	21,5	1465,2
Campinas	7462074	905342	27,5	16,3	21,9	1285,7
Campos do Jordão	7475775	105680	20,9	8,7	14,8	1902,4
Capão Bonito	7343169	771307	25,6	14,5	20,1	1389,7
Catanduva	7661715	711175	30,2	17,4	23,8	1341,2
Franca	7725328	875497	27,0	15,7	21,4	1499,2
Itapetininga	7388765	801109	25,8	16,8	21,3	1328,6
Itararé	7333640	671105	24,2	14,6	19,4	1712,2
Jales	7758912	548735	30,9	17,6	24,2	1375,8
Lins	7603502	631063	30,2	18,2	24,2	1295,7
Mococa	7620870	914675	28,6	17,0	22,8	1485,2
Ourinhos	7459689	616184	31,8	15,6	23,7	1368,1
Piracicaba	7483884	845892	28,5	15,2	21,9	1390,6
Presidente Prudente	7554178	460463	29,0	17,7	23,4	1339,2
Registro	7288545	820992	27,0	18,3	22,7	1735,0
Riberão Preto	7656023	832344	29,0	16,8	22,9	1491,4
Santos	7343406	975209	27,0	18,8	22,9	2128,6
São Carlos	7562014	821796	26,9	15,1	21,0	1468,7
São José do Rio Preto	7697252	669981	31,3	19,1	25,2	1445,3
São Paulo	7390609	946040	25,1	15,3	20,2	1474,5
Sorocaba	7396611	862630	27,6	16,4	22,0	1295,4
Tupã	7481760	857845	29,0	19,5	24,3	1318,0
Ubatuba	7395948	110687	27,0	17,7	22,4	2652,8
Votuporanga	7742042	607814	30,0	17,7	23,9	1427,7

Assim, em um estudo de climatologia geográfica, não podemos esquecer de duas noções importantes: a noção de variabilidade e de ritmo. A primeira diz respeito às rupturas nas continuidades das situações. Pode ser analisada em várias escalas temporais. Em horas, dias, meses, anos, etc. O ritmo exprime o retorno mais ou menos regular dos mesmos estados. Esses dois significados devem estar bem claros, pois evidenciam transformações importantes que necessitam ser verificadas em qualquer pesquisa que trabalhe com dados em clima. Se nosso trabalho consiste numa análise a partir da idéia de Hann, nada impede que os resultados aqui contidos sejam analisados a luz da proposta de clima de Sorre e defendida por Monteiro, a dinâmica atmosférica explicando os resultados aqui apresentados, tarefa essa complexa.

RESULTADOS

Observando os valores junto com os climogramas, verificamos a existência de 2 estações sazonais distintas: o inverno com as temperaturas mais baixas durante o ano e caracterizado pelos menores índices de precipitação e o verão com as maiores temperaturas, além de elevadas taxas de precipitação, o que atesta, em termos de classificação em uma escala global, o regime tropical do estado de São Paulo.

Pela Classificação de Köppen, o tipo climático do estado seria Cwa, ou seja, chuvas de verão e temperatura média do mês mais quente acima dos 22°C. Essa classificação, porém, é muito genérica, referindo-se a um estudo de escala secundária. Os Climogramas nos permitem além dessa classificação genérica, analisar particularidades regionais, ou seja, podemos fazer uma classificação local, baseada nas particularidades regionais do estado que estão representados nos climogramas e mapas elaborados, apresentados mais adiante.

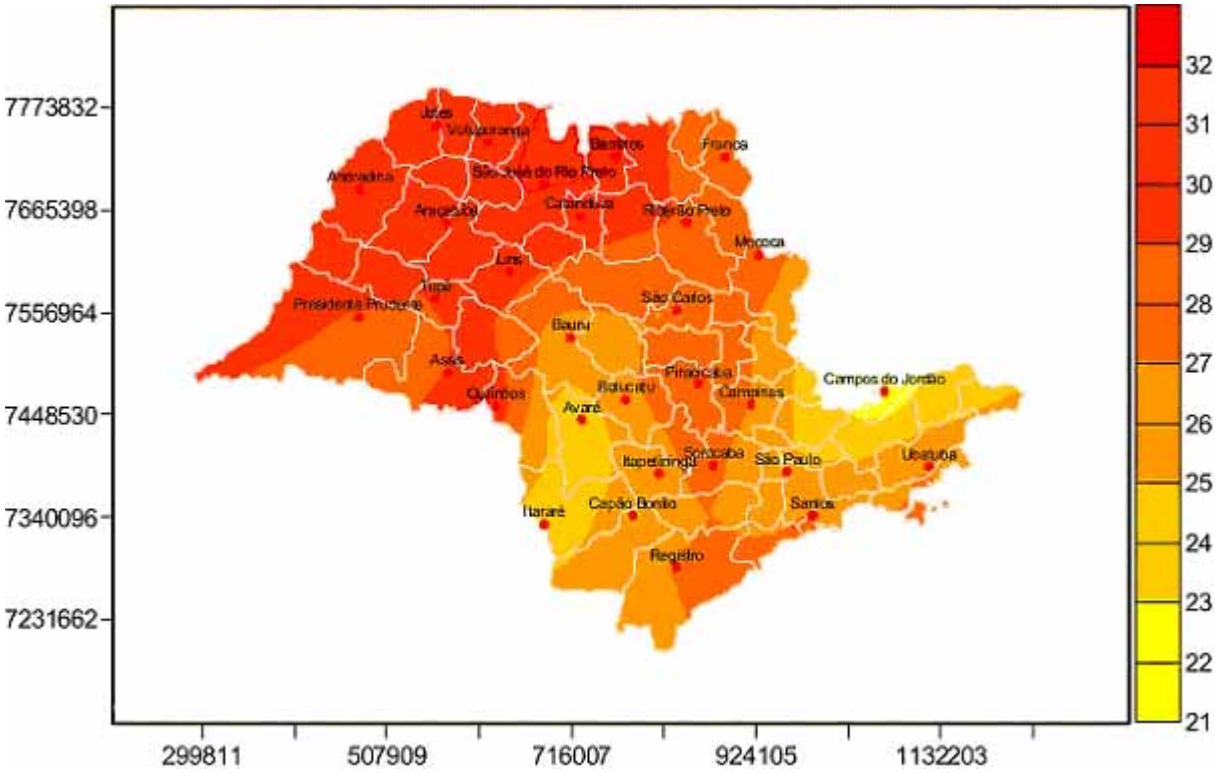
Pelos climogramas, observamos que as cidades litorâneas como Ubatuba e Santos apresentam elevados índices de precipitação e uma distribuição de chuvas mais uniforme no decorrer do ano. Essas elevadas taxas de precipitação estão relacionadas a um fluxo vertical mais intenso na porção litorânea do estado e a presença continua de umidade. Além disso, temos uma feição Geomorfológica representada pela serra do mar. Essa estrutura é responsável pelas chuvas orográficas que ocorrem por toda sua extensão. No caso de Ubatuba, localizado no litoral norte do estado, a junção entre as serras da Mantiqueira e Serra do Mar, fazem com que a região fique “encravada” provocando uma das maiores taxas de precipitação do estado, com chuvas constantes todo o ano. Essas estruturas servem de muralhas, ou melhor, de barreiras das massas úmidas, tanto das frentes frias, como das convergências úmidas intertropicas, impedindo de certa forma, o avanço desses mecanismos úmidos para o interior do continente, favorecendo as chuvas no litoral. Nesses locais vale observar também, que as variações de temperatura são menores tanto no decorrer do ano, quanto também entre as máximas e mínimas dentro de cada mês. Fazendo essas observações, já podemos concluir que o clima do litoral não pode ser aquele da média escala utilizado para uma abordagem inicial. Analisando os dados a partir dos ábacos e das tabelas, podemos classificar os climas litorâneos do estado como sendo Cfa, ou seja, sem estação seca bem definida e temperatura média do mês mais quente, acima dos 22°C.

Outro conjunto de dados interessantes de ser aqui analisados refere-se ao município de Campos do Jordão. Campos do Jordão apresenta temperaturas extremamente baixas em comparação ao restante do estado. O elemento que contribui para esses valores é a localização: na Serra da Mantiqueira, no médio Vale do Paraíba à 1.600m de altitude. Observando o Climograma, verificamos uma grande amplitude térmica entre o inverno e o verão, característico de climas temperados, com as estações do ano bem distintas. As chuvas são mais constantes no verão, com precipitações elevadas em janeiro e dezembro. O Clima seria do tipo Cwb, ou seja, temperatura média do mês mais quente é menor do que 22°C. Analisando agora as estações no extremo oeste de São Paulo, verificamos um aumento tanto das temperaturas máximas quanto das temperaturas mínimas, além de uma menor precipitação média anual. Sem dúvida, o clima nessa região é mais quente e seco do que no restante do estado, visto que nos aproximamos da porção centro-oeste do Brasil, com menores umidades, dado o afastamento do litoral. Verificamos que o mês mais frio apresenta média maior do que 18°C, ou seja, invernos brandos e verões extremamente quentes. A média das máximas costuma ultrapassar os 30°C. As precipitações ocorrem durante todo ano, porém, se concentram nos meses de verão. Podemos classificar esse tipo de clima como sendo Aw.

A porção central do estado representa um clima de transição entre o litoral úmido e o oeste quente e mais seco. Nessa porção regional, as temperaturas são mais brandas, tanto no verão quanto no inverno. As precipitações apresentam médias intermediarias entre as chuvas que ocorrem a oeste e as que ocorrem mais ao leste. Dificilmente a média das máximas para cada mês ultrapassa os 30°C, ficando acima dos 25°C. Temos o clima Cwa.

O que acabamos de realizar foi uma classificação um pouco mais apurada para o estado. É o suficiente? Não. O que realizamos foi uma descrição a respeito de como o clima pode variar de acordo com a latitude e o que se verifica é uma grande extensão no sentido oeste-leste do estado, possibilitando uma variedade climática considerável em termos de espacialidade. Verifica-se também uma variação nos dados se compararmos estações com longitudes muito próximas e latitudes bem diferentes. Dependendo a localização, mais ao norte, ou mais ao sul, os resultados verificados são diferentes. É interessante notar que isso reflete a dinâmica do clima e como o conhecimento para trabalhar com ela, em suas diferentes escalas, se faz necessário. Temos elementos de escala global (latitude) e elementos de escala local (topografia, etc), influenciando os climas regionais. Uma análise englobando todos esses elementos em uma classificação é um trabalho árduo, que exigiria muito tempo, e extremo conhecimento, por isso, não é o que pretendemos, pelo menos, por enquanto.

Figura 3. Média das temperaturas máximas anuais.



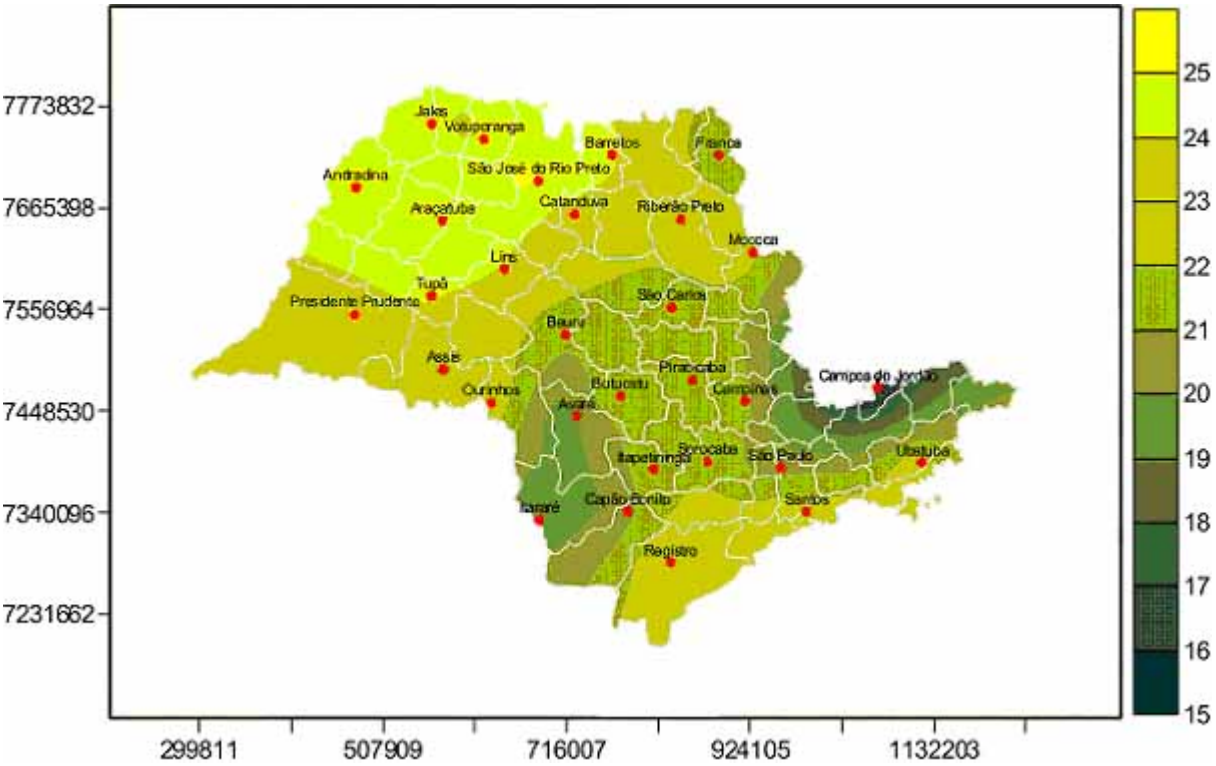
Indo mais adiante realizamos uma análise estatística dos dados. A estatística, como ferramenta proveniente da matemática, pode ser útil aos estudos do clima, tendo sido gerados uma série de mapas como resultado dessa. Os valores foram interpolados (Kriging Method) para a elaboração dos mapas de temperaturas máximas, médias e mínimas, alem do mapa de precipitação. A Krigagem foi o método de interpolação que respondeu melhor a espacialização das médias, tendo sido outros métodos experimentados. É impressionante como a transformação de uma linguagem numérica em uma linguagem gráfica facilita a compreensão do que esta sendo pesquisado. Os mapas nos permitem uma análise mais rica, principalmente espacialmente, em relação aos Climogramas, permitindo verificarmos como os elementos se distribuem pelo estado, tornando-a mais precisa e permitindo uma diminuição na escala de classificação. Antes classificamos três porções: Leste – Centro – Oeste do estado. Podemos agora espacializar os dados e assim elaborar uma classificação específica de acordo com as semelhanças dos valores obtidos.

Elaboramos para cada variável um mapa que tem como objetivo demonstrar essa distribuição espacial. Todos os mapas estão na escala de 1:5.000.000. O primeiro mapa refere-se as temperaturas máximas

O resultado final é o mapa acima, o que mostra a distribuição espacial das temperaturas a partir das 30 estações. O que temos é uma sub-espacialização desses dados a partir da elaboração de isotermas, que são linhas de iguais temperaturas. Verificamos que o oeste do estado, principalmente a porção noroeste, apresenta temperaturas máximas maiores em contraste com o leste que apresenta temperaturas mais amenas. A região de Barretos e São José do Rio Preto apresenta as maiores temperaturas, em torno dos 32°C. A parte nordeste do estado registra os menores valores com destaque para Campos do Jordão.

Vale salientar que agora não estamos tratando apenas dos dados de cada ponto, ou seja, uma análise pontual. Esses dados foram utilizados para uma espacialização e é isso que esse mapa mostra.

Figura 4. Média das temperaturas médias anuais.



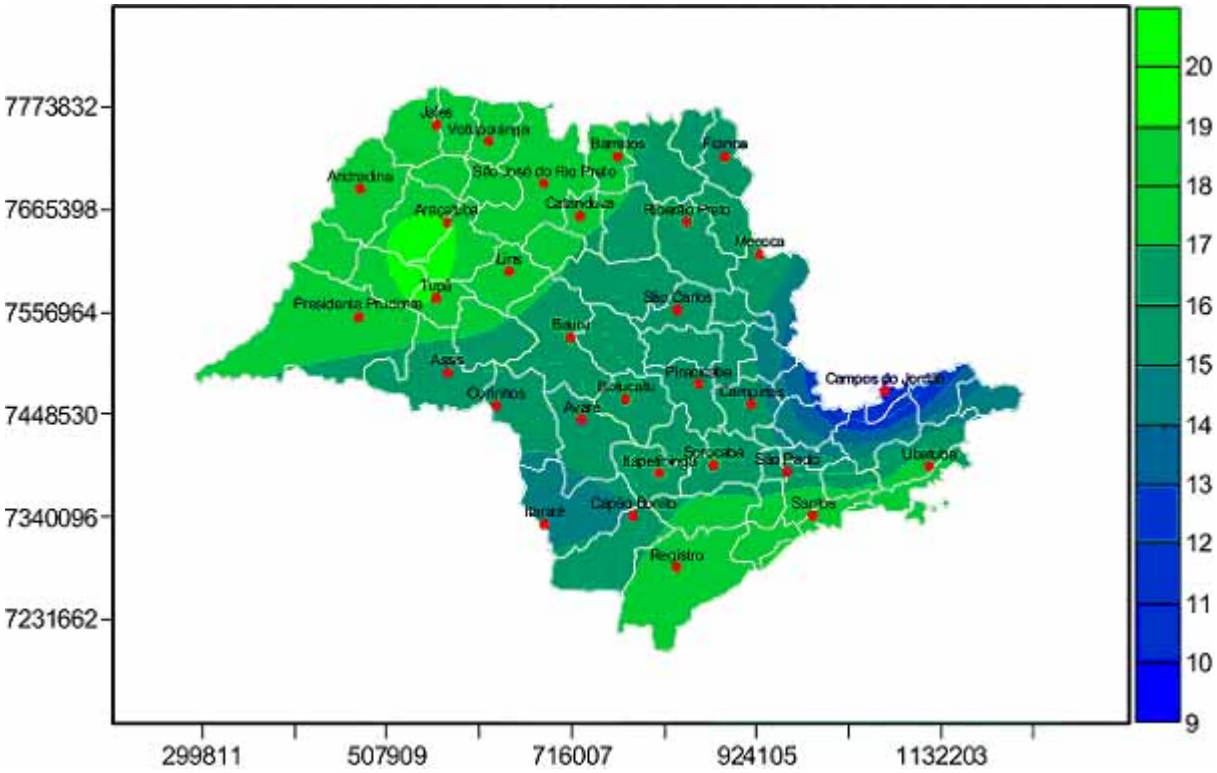
Verificamos que os resultados seguem a lógica dos mapas de temperaturas máximas. Essa distribuição da temperatura reflete a tendência latitudinal das isotermas em áreas continentais, que reflete as diferenças de recebimento de energia. Uma concentração de isolinhas, como em Campos do Jordão, demonstra uma alta tendência daquela temperatura na região. Pórem, se coletarmos mais dados, de outras estações naquelas proximidades, verificaríamos provavelmente uma forma mais linear das isolinhas ali. As maiores médias novamente ocorrem no noroeste do estado. Em São José do Rio Preto e região, temos as maiores médias. Devemos salientar que esses dados representam tendências e não conformações absolutas isentas de erro.

Nesse quarto conjunto de mapas, podemos concluir que as temperaturas mínimas se encontram mais ao sul e nordeste do estado. Verificamos um "corredor" central passando por Botucatu e Bauru e se abrindo para o norte e para o sul. Essas médias corresponde ao valor de 16°C. Novamente as maiores médias se estendem pelo oeste do estado.

Através desses mapas de temperatura, verificamos como esta é moldada no sentido Oeste-Leste. Nos encontramos em uma faixa de transição entre os regimes permanentemente úmidos do Brasil Meridional e alternadamente seco e úmido do Brasil Central. É interessante notar como a vegetação se distribui de acordo com o regime climático local: a leste temos os resquícios de Mata Atlântica e no extremo oeste a vegetação de cerrado, adaptada a climas mais secos e quentes. Essa variação espacial da temperatura pode ser explicada por

alguns fatores, entre eles, a diferença na quantidade de insolação recebida, a natureza da superfície, a distância dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos que predomina, além das correntes marítimas.

Figura 5. Média das temperaturas mínimas anuais.



Os mapas de temperatura, sozinhos, não nos permitem uma classificação climática no modelo de Köppen. Para completar a classificação precisamos analisar um mapa relativo a distribuição das precipitações no estado. O último conjunto de mapas que apresentamos refere-se às precipitações.

Verificamos que o litoral apresenta as maiores médias, o que já era esperado. Chuvas frontais e intensas cobrem toda a faixa litorânea, principalmente a porção nordeste do estado, próximo a Ubatuba. As áreas que apresentam as menores médias compreendem o interior do estado, porção central e extremo oeste. Áreas próximas a Campinas e Bauru apresentaram as menores médias (1200mm). Essas regiões se localizam na porção central do estado dentro da depressão periférica paulista. No verão, com o Anticiclone do Atlântico Sul sobre o oceano, a massa de ar tropical atlântica carregada de umidade vinda do litoral encontra uma barreira natural no seu caminho para o interior do estado, a serra do mar. Nesse encontro ocorre convecção e à medida que a massa de ar ascende sua temperatura diminuiu havendo condensação e posterior precipitação no litoral. A massa de ar agora tem pouca umidade ocasionando poucas chuvas no interior. Durante o inverno o deslocamento do Anticiclone do Atlântico Sul para o continente, logo, a massa tropical atlântica passa a ser puramente continental, incapaz de formar nuvens, predominando céu claro e ausência de chuvas.

Lembramos que todos os mapas vistos acima se referem a valores médios anuais, sendo que o principal deles, refere-se a temperatura média anual e precipitação média anual, pois são os que mais interessam para o nosso tipo de classificação climática, juntamente com os valores de temperatura média mensal dos climogramas.

Chamaremos de mapas do clima aqueles utilizados diretamente para a classificação climática. Assim os mapas abaixo se referem a distribuição espacial de valores específicos. Assim, elaboramos três novos conjuntos de mapas: o primeiro refere-se a Temperatura de 18°C, o segundo a precipitação de 66mm e por fim, o referente a temperatura de 22°C.

Segundo Vianello e Alves (1991, p.395), *"...a principal limitação da classificação climática de Koeppen, apesar de sua ampla utilização, é a falta de base racional na seleção dos valores de temperaturas e de chuvas para diferentes zonas climáticas"*.

Figura 6. Médias anuais de precipitação

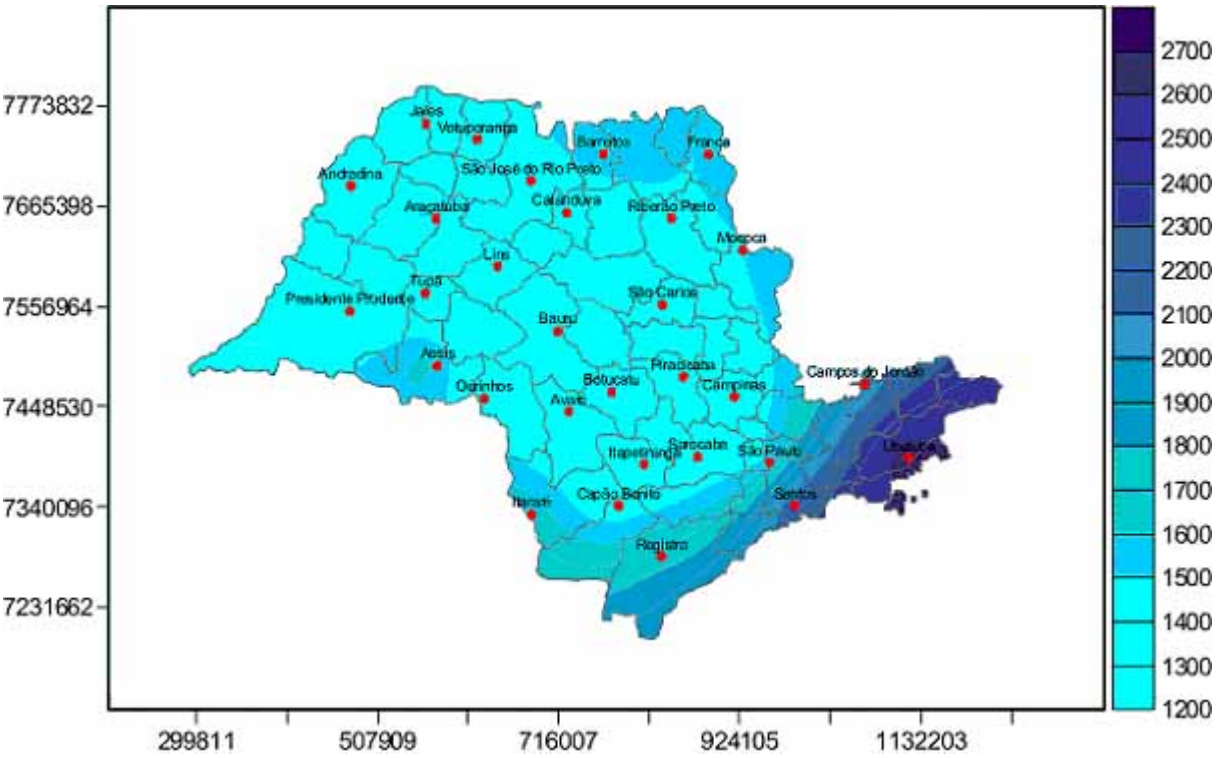
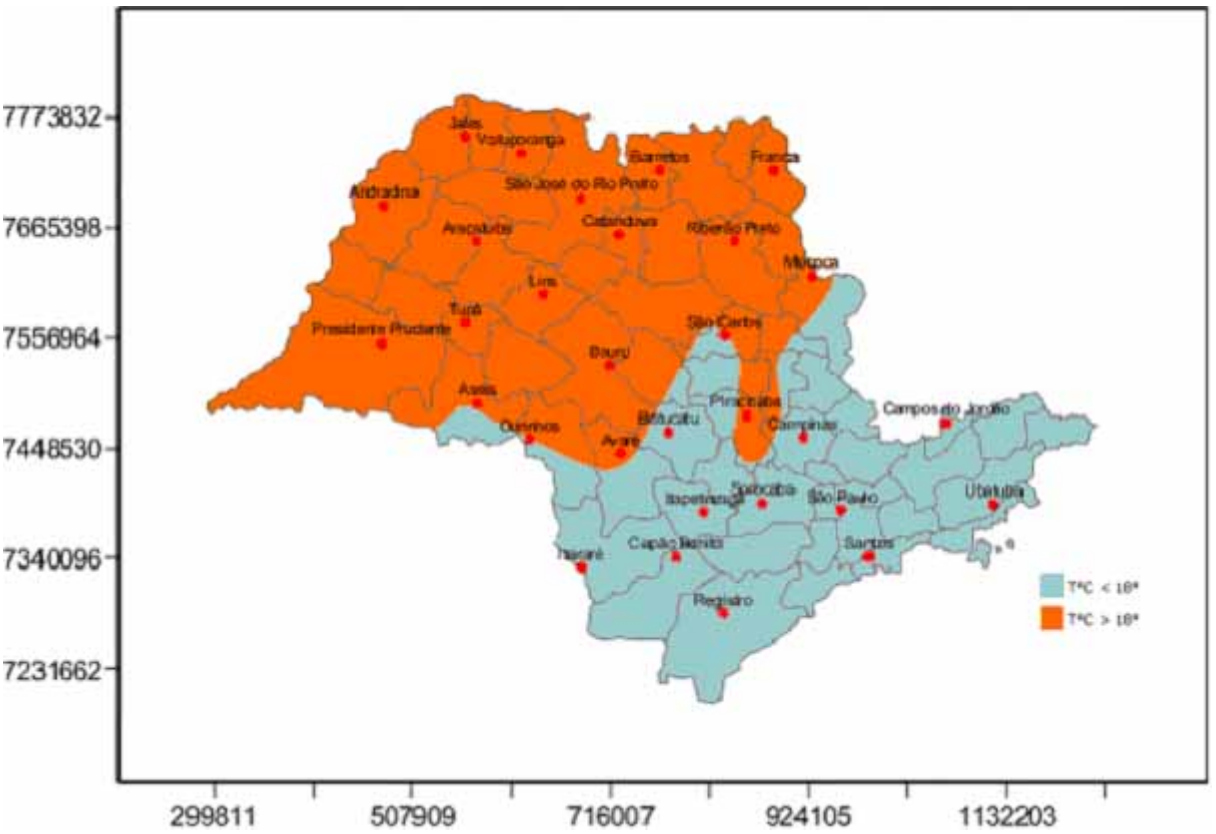


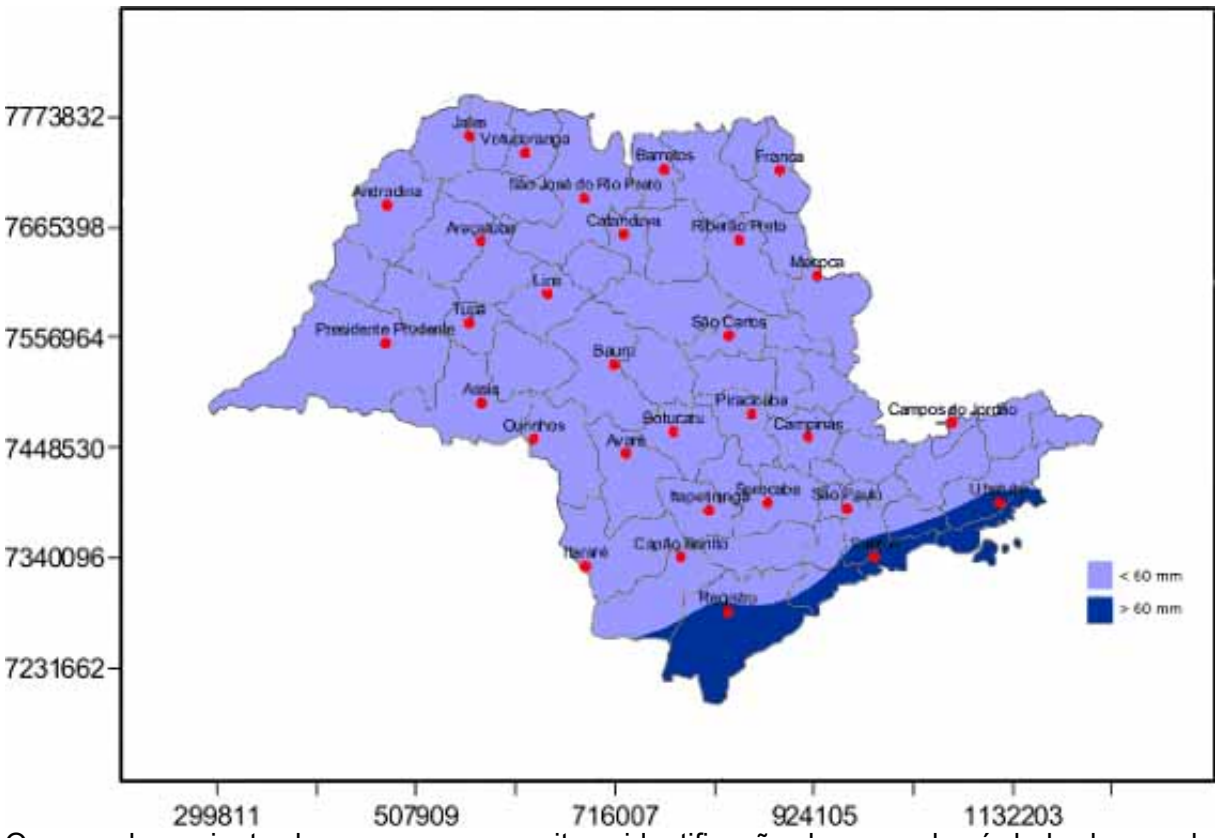
Figura 7. Regionalização a partir de isoterma de 18°C



A partir da isoterma, delimitamos as áreas onde a temperatura média do mês mais frio é maior e áreas onde ela é menor do que 18°C. Esse mapa nos permite a identificação do

primeiro símbolo definido na pagina 6 Verificamos que existem duas porções opostas no estado no sentido Noroeste-Sudeste. O oeste de São Paulo apresenta médias maiores do que 18°C no mês mais frio. Já o leste do estado apresenta médias menores. Esse gráfico confirma o que já havíamos concluído com os mapas de médias anuais para as temperaturas, ou seja, o oeste do estado de São Paulo apresenta temperaturas bem mais elevadas do que o restante da região. Essas maiores temperaturas se relacionam aos efeitos de continentalidade/maritimidade, além da dinâmica das massas de ar que chegam com pouca umidade nessa região.

Figura 8. Regionalização a partir de isolinha de 60mm de precipitação

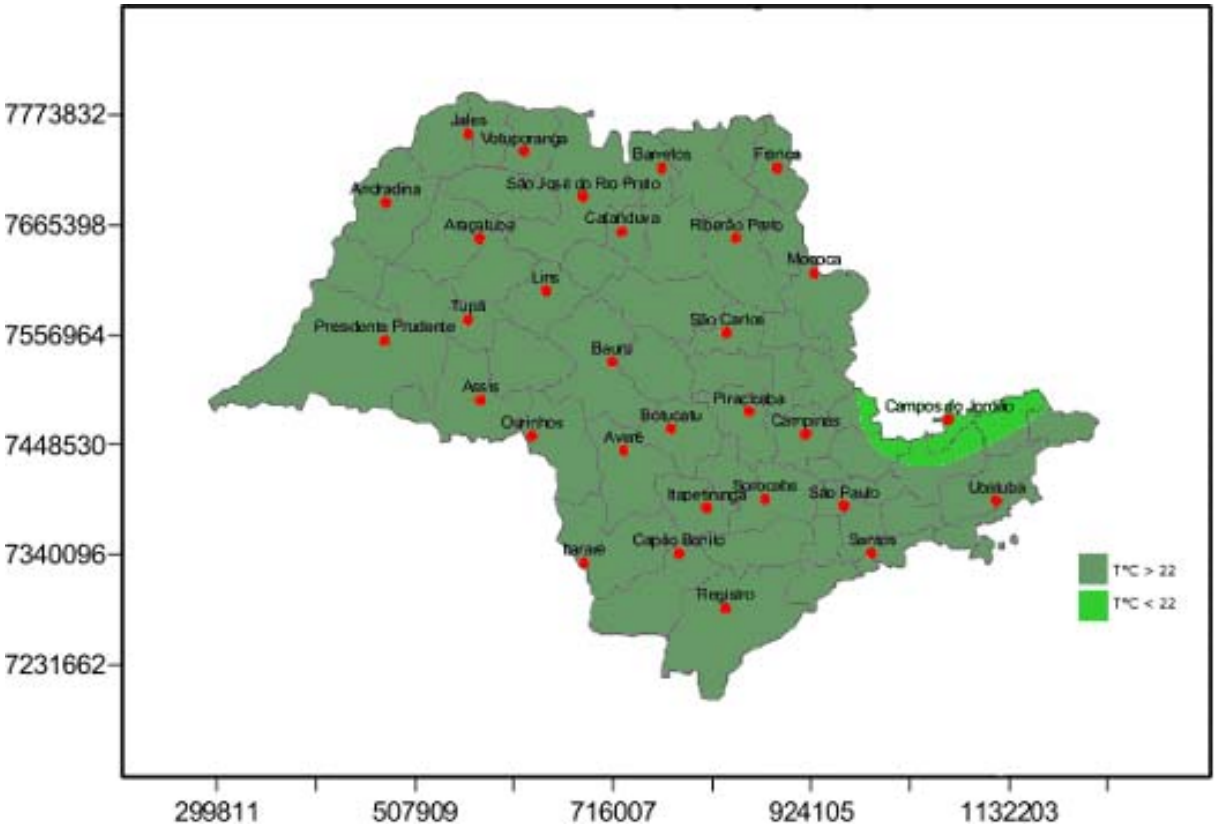


O segundo conjunto de mapas nos permite a identificação do segundo símbolo de acordo com a distribuição sazonal da precipitação. Esse segundo conjunto de mapas divide o estado em duas regiões de acordo com o valor de precipitação mensal de 60mm. Com os valores de precipitação mensal, dividimos o estado em áreas onde a precipitação mínima foi maior ou menor do que 60mm mensais.

O terceiro conjunto de mapas refere-se a temperatura de 22°C. Dividimos o estado em regiões onde a média da temperatura no mês mais quente de verão são maiores ou menores do que 22°C. Esses mapas nos possibilitam a identificação do terceiro símbolo que nos dá as características adicionais de temperatura:

A elaboração de regionalização climática para qualquer localidade é uma tarefa complexa e que exige conhecimento geográfico abrangente. O que elaboramos acima foi uma tentativa de regionalização a partir de uma metodologia especifica levando em consideração o modelo climático escolhido, no caso, o de Köppen. Existem atualmente métodos que propõe uma classificação abordando a dinâmica e que abrange novos elementos. Uma regionalização climática mais abrangente é uma tarefa mais complexa do que a presente neste trabalho. O relevo, a natureza, cornubações urbanas e a própria ação antrópica do homem que gera mudanças nos regimes climáticos, são elementos que analisados em conjunto e com outros mais, nos permitira um aguçado estudo sobre o clima de um determinado local.

Figura 9. Regionalização a partir da isoterma de 22°C



Por outro lado, a classificação de Köppen se mostra bastante satisfatória para uma compreensão inicial a respeito do clima regional. De fácil entendimento e grande aplicação didática, é ainda muito utilizada, uma classificação que a partir do momento que trabalha com variáveis numéricas anuais, nos permite verificar uma evolução nos tipos de tempo a medida em que mudanças podem ser verificadas.

A respeito da nossa regionalização climática baseada em Köppen, concluímos que o estado de São Paulo é cortado por quatro tipos climáticos definidos a partir dos dados de temperatura e precipitação colhidos das estações meteorológicas indicadas no mapa:

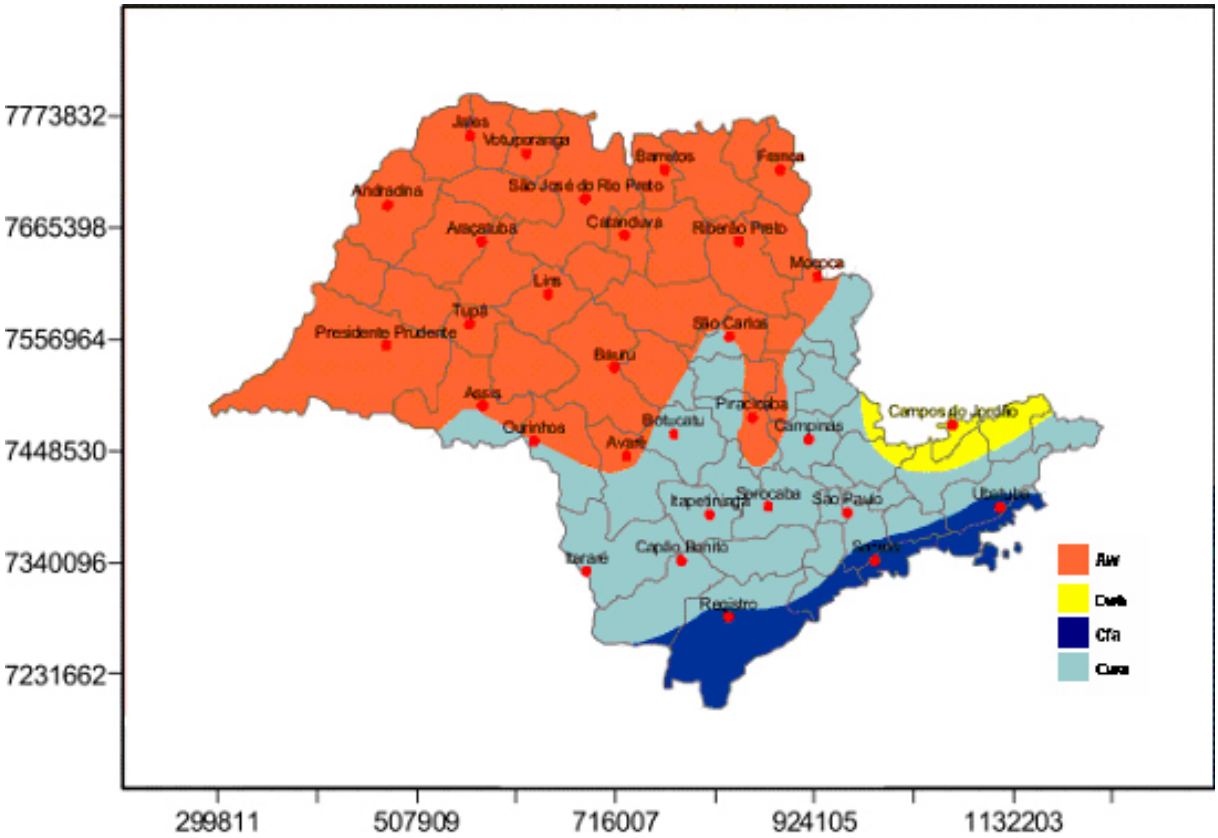
Aw – Tipo climático megatérmico, com média de temperatura do mês mais frio superior aos 18°C. Regime de precipitação no mês mais seco inferior aos 60mm. Chuvas concentradas no verão estendendo-se no outono onde se verificam as maiores precipitações. As menores precipitações ocorrem no inverno, caracterizando um tipo climático tropical chuvoso.

Cwa – Tipo climático megatérmico, com média de temperatura do mês mais frio inferior a 18°C. O verão é quente, sendo a temperatura do mês mais quente superior aos 22°C. O regime de precipitação no mês mais seco é inferior aos 60mm. Chuvas também se concentram no verão e as menores precipitações ocorrem no inverno. Cwa constitui o ambiente climático localizado nas porções centrais e setentrionais da Depressão Periférica paulista, assim como o centro do estado.

Cwb – Tipo climático mesotérmico. O que difere esse tipo climático do Cwa, são os verões mais moderados. A temperatura do mês mais quente não ultrapassa os 22°C. A precipitação também se caracteriza por chuvas concentradas no verão. Possui área de extensão bem mais restrita no estado de São Paulo.

Cfa – Tipo climático caracterizado por precipitações constantes durante todo ano, sem estiagem. A temperatura do mês mais quente é superior aos 22°C e a temperatura do mês mais frio esta entre –3 e 18°C. É um tipo climático que se restringe ao litoral do estado.

Figura 10. Classificação Climática de Köppen para o Estado de São Paulo



Esses tipos climáticos foram determinados a partir da coleta de dados de 30 estações meteorológicas escolhidas de maneira a fornecer uma abrangência espacial satisfatória. Vale ressaltar que esse trabalho é uma análise de metodologia, ou seja, temos aqui a descrição de um método que fica em aberto. Isso permite que a medida que novos dados forem obtidos, a classificação pode ser cada vez mais trabalhada gerando um resultado mais abrangente.

A classificação climática obtida pode ser útil e usada em várias atividades. *"O conhecimento, pelo produtor agrícola, dos dados climatológicos da região ou área onde se situa a sua atividade é imprescindível para um planejamento que leve a resultados positivos na sua exploração. Para a pesquisa agropecuária, os dados coletados em estações climatológicas são de suma importância, uma vez que possibilitam o monitoramento do clima, bem como o levantamento dos seus efeitos sobre pragas e doenças nas culturas, a estimativa da evapotranspiração, do volume e dos turnos de irrigação, dentre muitas outras finalidades básicas"* (AGUIAR, et al, 2000). No planejamento urbano o conhecimento a respeito do clima também apresenta grande utilidade, principalmente na elaboração de projetos habitacionais e paisagísticos.

Com uma classificação climática, podemos determinar áreas mais propícias a apresentarem deficiências hídricas ou não, caracterizando a presença de rios perenes ou intermitentes. Relatórios de impactos ambientais, monitoramento de queimadas, delimitação de áreas de preservação, estudos biológicos de fauna e flora e mais indiretamente, trafego aéreo, transporte terrestre e fluvial, eco-turismo são alguns exemplos que direta ou indiretamente, em maior ou menor grau, utilizam o conhecimento do clima em suas atividades.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M.J.N. & LIMA, J.B & CARNEIRO, F.A, & BADU, F.O. Dados Climatológicos: estação de Paraipaba, 2000. **Boletim Agrometeorológico** Nº3.

AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Ed.Bertrand Brasil. Rio de Janeiro – RJ, 2001.

BARRY, R.G & CHORLEY, R.J. **Atmosphere, Weather and Climate**. Ed.Routledge, Londres, 1998.

HANN, J. **Handbook of climatology**. Ed.MacMillan. New York, 1903.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. Ed. Fundo de Cultura Econômica, México, 1948.

MILLER, A.A. **Climatology**. Ed. Methuen, Londres, 1965.

MONTEIRO, C.A. de F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo (estudo geográfico sobre a forma de Atlas)**. São Paulo: IGEOG-USP, 1973.

_____. O Clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: Problemas e Perspectivas. **Série Teses e Monografias** N°28. USP. São Paulo – SP, 1976.

_____. Teoria e Clima Urbano. **Série Teses e Monografias**, N°25, São Paulo – SP, 1976.

STRAHLER, A.N. **Physical Geography**. Ed.John Wiley, Nova Iorque, 1969.

TERJUNG, W.H e LOUSIE. Energy input output climates of the world: a preliminary attempt. **Arch. Met. Geoph. Bick**l. Series B, n° 20. 1972.

THORNTHWAIT, C.W. An approach towards a rational classification of climate. **Geo Rev**, n°38, 1948.

TREWARTHA, G. T. **Introduction to Climate**. Ed. McGraw-Hill, Nova Iorque, 1968.

VIANELLO, R. L & ALVES, A.R. **Meteorologia Básica e aplicações**. Ed. UFV. Viçosa – MG, 1991.